

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102010901868501A1

Publication Date

20120301

Applicant

POLITECNICO DI TORINO

Title

SISTEMA DI POSIZIONAMENTO GEO-SPAZIALE COOPERATIVO OPERANTE
CON SISTEMI DI NAVIGAZIONE GLOBALE SATELLITARE E RETI DI
TELECOMUNICAZIONE WIRELESS, RELATIVO PROCEDIMENTO E
APPARATO DI POSIZIONAMENTO GEO-SPAZIALE.

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Sistema di posizionamento geo-spaziale cooperativo operante con sistemi di navigazione globale satellitare e reti di telecomunicazione wireless, relativo procedimento e apparato di posizionamento geo-spaziale"

di: Politecnico di Torino, nazionalità italiana, Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino;

Inventori designati: Roberto GARELLO, Letizia LO PRESTI, Fabio DOVIS, Davide MARGARIA, Jaron SAMSON.

Depositata il: 30 agosto 2010

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce a un sistema di posizionamento geo-spaziale configurato per operare in associazione a un sistema di navigazione globale satellitare GNSS comprendente una pluralità di satelliti trasmettenti segnali GNSS, detto sistema comprendendo un insieme di apparati di posizionamento geo-spaziale, comprendenti rispettivi ricevitori per segnali GNSS (Global Navigation Satellite System), e configurati per operare una stima del posizionamento dell'apparato elaborando dati in detti segnali GNSS ricevuti da satelliti visibili in detta pluralità di satelliti, detta stima del posizionamento comprendendo misurare un insieme di grandezze d'aiuto al posizionamento, detti apparati di posizionamento geospaziale comprendendo inoltre rispettivi mezzi di comunicazione wireless per operare da peer in una rete di comunicazione wireless peer-to-peer e scambiare dati wireless con uno o più altri peer di detta rete peer-to-peer.

Si considera qui il caso di reti di comunicazione wireless paritarie, o peer-to-peer in cui vi siano dei nodi paritari o peer, dotati di capacità di posizionamento tramite un ricevitore GNSS.

Tipicamente un ricevitore GNSS è in grado di stimare la sua posizione solo se il rispettivo apparato di posizionamento geo-spaziale, ad esempio un terminale GPS (Global Positioning System), si trova in condizioni ottimali di visibilità dei satelliti (almeno quattro satelliti in vista, ossia almeno quattro segnali satellitari ricevuti con sufficiente potenza). Gli apparati di posizionamento si possono trovare in condizioni non ottimali di visibilità, ad esempio perché si trovano all'interno di un edificio, o sotto gli alberi, o dietro una finestra e ricevono segnali satellitari troppo deboli. Pertanto la fase di acquisizione dei segnali satellitari e di stima della posizione vengono rallentate, ove non rese impossibili. Per acquisizione dei segnali GNSS si intende in generale la prima operazione eseguita da un ricevitore GNSS che decide sulla presenza o assenza del segnale di un satellite e fornisce una misura grossolana del ritardo di codice e della frequenza Doppler del segnale in arrivo relativo a quel satellite.

Per ovviare a simili problemi sono note nello stato dell'arte delle procedure di assistenza denominate Assisted-GNSS (A-GNSS) dove informazioni che migliorano la velocità o l'accuratezza di posizionamento sono forniti agli apparati di posizionamento da una stazione base o server mediante un collegamento wireless dedicato. In tale ambito è correntemente operativo ad esempio l'Assisted-GPS (A-GPS).

Tale tecnologia presenta degli inconvenienti, in quanto le informazioni di tale stazione base centralizzata non sono sempre le più adatte a ciascun apparato di posizionamento e alla sua posizione: la distanza tra la stazione base o server che fornisce le informazioni e l'apparato di posizionamento che le riceve fa sì che queste possano non essere sufficientemente precise da risultare

utili, sia per la distanza sia perché la configurazione di satelliti vista dalla stazione base o server può essere diversa da quella vista localmente dall'apparato di posizionamento.

La presente invenzione si prefigge lo scopo di fornire un sistema cooperativo di posizionamento geo-spaziale operante il posizionamento in associazione a sistemi GNSS che aumenti la velocità di acquisizione dei segnali GNSS, rendendo possibile una rapida stima della posizione anche per apparati di posizionamento geospaziale che si trovino in condizioni non ottimali di visibilità, fornendo informazioni locali che ne migliorano l'affidabilità, l'accuratezza, la precisione e/o velocità di posizionamento.

Secondo la presente invenzione, tale scopo viene raggiunto grazie ad un sistema di posizionamento geo-spaziale avente le caratteristiche richiamate in modo specifico nelle rivendicazioni che seguono.

L'invenzione riguarda anche un corrispondente procedimento di posizionamento geo-spaziale, nonché un apparato di posizionamento geo-spaziale del sistema di posizionamento geo-spaziale secondo l'invenzione.

Il sistema e procedimento di posizionamento geo-spaziale secondo l'invenzione permettono di fornire ad un determinato apparato di posizionamento geo-spaziale informazioni relative ai segnali dei satelliti in vista più specifiche in modo da migliorare l'accuratezza, l'affidabilità e/o la velocità di posizionamento.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi dell'invenzione risulteranno dalla descrizione che segue con riferimento ai disegni annessi, forniti a puro titolo di esempio non limitativo, in cui:

- la figura 1 rappresenta una vista schematica in sezione di un sistema secondo l'invenzione.

In breve, la soluzione proposta riguarda un sistema di posizionamento geo-spaziale operante il posizionamento in associazione a sistemi GNSS (Global Navigation Satellite System), dove una pluralità di satelliti GNSS trasmette dati GNSS a un insieme di apparati di posizionamento geo-spaziale, comprendenti un ricevitore per segnali GNSS e configurati per operare il posizionamento elaborando dati dei segnali GNSS ricevuti da satelliti a loro visibili, operando la misura da tali dati per il posizionamento, in particolare tramite elaborazione del segnale GNSS, un insieme di grandezze d'aiuto al posizionamento, tali apparati di posizionamento geospaziale comprendendo inoltre mezzi di comunicazione wireless per operare da peer in una rete di comunicazione wireless peer-to-peer, ricevendo dati wireless da uno o più altri peer di tale rete. Il sistema secondo l'invenzione prevede di eseguire procedure di acquisizione dei segnali GNSS e di operare sulla base di grandezze di aiuto, stimate dagli apparati di posizionamento geo-spaziale sulla base di valori di tali grandezze di aiuto che sono in grado di ricevere dagli altri peer delle rete wireless, le grandezze di aiuto stimate essendo calcolate tramite operazioni di media pesata su tali valori ricevuti da più altri peer, i coefficienti di peso per l'operazione di media pesata essendo trasmessi da tali altri peer o calcolati all'apparato di posizionamento.

Viene ora descritto più in dettaglio il sistema secondo l'invenzione.

In figura 1 è mostrato schematicamente un sistema di posizionamento secondo l'invenzione.

Con S è indicato nel complesso un sistema di satelliti, in figura 1 quattro satelliti S_1 , S_2 , S_3 e S_4 , che trasmettono segnali globali di navigazione satellitare D, ossia segnali GNSS, a un insieme di apparati di

posizionamento geo-spaziale indicati nel complesso con U , ad esempio terminali utente; in particolare in figura 1 sono mostrati a titolo d'esempio cinque apparati di posizionamento geo-spaziale $U_1...U_5$.

Tali apparati di posizionamento $U_1...U_5$ in generale ricevono tali segnali globali di navigazione satellitare D , indicati in figura 1 più specificamente con $D_1...D_4$, indicando tramite il pedice il rispettivo satellite $S_1...S_4$ che trasmette il segnale satellitare, e acquisiscono tali segnali GNSS D elaborandoli per ottenere informazioni necessarie a calcolare la posizione. I dati GNSS trasmessi in tali segnali GNSS D comprendono usualmente, come contenuto del messaggio, informazioni necessarie per il posizionamento come, ad esempio, l'istante di trasmissione (stato dell'orologio di bordo) e le posizioni dei satelliti (più precisamente le effemeridi).

Tali segnali D trasmessi dai sistemi GNSS vengono anche elaborati all'apparato di posizionamento geo-spaziale per misurare delle grandezze, qui definite grandezze d'aiuto A_{xji} al posizionamento ossia, parametri ulteriori rispetto alle informazioni immediatamente necessarie per il posizionamento come le effemeridi, che permettono, se inviate ad un altro peer che sta iniziando l'acquisizione dei segnali GNSS, detto peer aiutato, di rendere più rapida, più affidabile e/o più precisa la fase di acquisizione per il peer aiutato.

Tali apparati di posizionamento $U_1...U_5$ rappresentano anche, tramite loro rispettivi moduli di comunicazione wireless, nodi peer, o paritari di una rete wireless peer-to-peer W , ad esempio una rete Wi-Fi (WLAN) o Bluetooth o Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) o Ultra-Wideband (UWB), che scambia dati su rispettive connessioni wireless. In figura 1 sono mostrate alcune di tali connessioni, $W_{12}...W_{35}$, dove i pedici rappresentano gli

apparati di posizionamento $U_1...U_5$ fra cui operano.

Si noti dunque che con il termine apparato di posizionamento geo-spaziale ai fini della presente descrizione si intende un dispositivo dotato di un ricevitore P per segnali globali di navigazione satellitare (GNSS) e di un modulo di ricetrasmissione/comunicazione wireless T, tale categoria di apparati ricomprendendo diversi tipi di elaboratori, inclusi ad esempio notebook, tablet-PC, computer palmari, telefoni mobili, navigatori satellitari.

Il sistema prevede che tali apparati di posizionamento U rappresentino dei peer nell'ambito della rete wireless W peer-to-peer. Dato un satellite nell'insieme dei satelliti S, alcuni degli apparati U li vedono con un'ottima qualità di segnale ricevuto, tale qualità essendo nota come 'open sky', altri li vedono invece con una qualità di segnale ricevuto minore, detta qualità 'light indoor', perché si trovano ad esempio all'interno di edifici, o sotto degli alberi, o dietro una finestra.

Come si può osservare in figura 1, fra gli apparati U, vi sono degli apparati, come U_2, U_4, U_5 , che, nell'esempio colà mostrato, ricevono segnali globali di navigazione satellitare D di ottima qualità da tutti e quattro i satelliti $S_1...S_4$ necessari, ossia li hanno tutti e quattro visibili in open sky, e pertanto sono in possesso di tutti i dati per effettuare rapidamente l'acquisizione dei segnali GNSS e la valutazione della posizione. Con U_1 è invece indicato un apparato che vede alcuni dei satelliti con una buona qualità di segnale (in open sky) e altri con qualità più bassa di segnale (light indoor, indicata tramite linea tratteggiata). L'apparato di posizionamento geospaziale U_3 , infine, non vede alcun satellite in open sky ma li vede tutti in condizioni di light indoor.

Gli apparati che vedono almeno quattro satelliti in

open sky non hanno problemi ad acquisire i loro segnali in tempi molto brevi. Gli apparati che vedono alcuni dei 4 satelliti necessari in modalità light indoor, hanno delle difficoltà ad acquisire i loro segnali. In particolare i tempi necessari per acquisirli potrebbero essere molto lunghi, rendendo di fatto inutile o impossibile la procedura di posizionamento.

Nel sistema di posizionamento secondo l'invenzione è previsto che, dato un apparato di posizionamento peer, ad esempio U_1 , che sta iniziando l'acquisizione dei segnali GNSS, e che potrebbe non avere in vista open-sky un numero sufficiente di satelliti $S_1...S_4$, uno o più degli altri apparati peer che hanno già acquisito ed agganciato i segnali di un numero di satelliti sufficiente, ossia U_2 , U_4 , U_5 , operi da apparato peer aiutante, o aiding peer, verso tale apparato di posizionamento U_1 , peer rispetto alla rete wireless W , che viene quindi aiutato, ossia è un peer aiutato, o aided peer.

Ciascuno degli apparati di posizionamento U può costituire un peer aiutante, indicato in generale con il riferimento U_a , o un peer aiutato, indicato in generale con il riferimento U_u , secondo le condizioni di visibilità e di disponibilità di connessioni nella rete di comunicazione wireless W peer-to-peer.

Tale peer aiutante U_a , ad esempio U_2 , è configurato per misurare, trattando il segnale D ricevuto dal satellite tramite il proprio microprocessore e le proprie capacità di signal processing, una o più grandezze d'aiuto A_{xji} , e inviarla a un peer aiutato U_u , o aided peer, ad esempio U_1 o U_3 , che non ha in vista open sky un numero sufficiente di satelliti.

Ai fini della presente descrizione, x è un indice, che varia da 1 a 3, che specifica il tipo di grandezza fra le grandezze d'aiuto impiegabili dal sistema secondo

l'invenzione e descritte in dettaglio nel seguito; j è un indice che specifica a quale fra i segnali dei satelliti S visibili da tale peer aiutante U_a si riferisce la grandezza d'aiuto A_{xji} ; i è un indice che specifica il peer aiutante U_a fra un numero N di peer aiutanti che, in base alla configurazione e allo stato della rete wireless W , sono in grado di aiutare un determinato peer aiutato, ad esempio perché si trovano entro una distanza limite, in generale determinata dalle caratteristiche e dalla topologia della rete wireless W utilizzata, trasmettendo la grandezza d'aiuto A_{xji} a tale peer aiutato, come meglio dettagliato qui di seguito.

Dunque, un peer aiutante U_a , ad esempio U_2 , misura un insieme di grandezze d'aiuto $\{A_{1j2}, A_{2j2}, A_{3j2}\}$ relative al segnale del j -esimo satellite, trasmettendole sulla rete wireless W , ad un altro apparato di posizionamento geospaziale, corrispondente al peer aiutato U_u . Il peer aiutante U_2 ha infatti piena visibilità dei satelliti necessari e possibilità di elaborare i segnali GNSS D_1, D_2, D_3 e D_4 ricevuti dai satelliti $S_1 \dots S_4$, per ottenere, ad esempio considerando il satellite S_1 , le grandezze $A_{112}, A_{212}, A_{312}$, che invia sulla connessione wireless W_{23} al peer aiutato U_3 , che sta iniziando la fase di acquisizione dei segnali GNSS.

Tali operazioni possono avvenire per uno o più dei seguenti scopi:

- abbreviare il tempo impiegato dal peer aiutato U_u per calcolare la sua posizione (Time to First Fix - TTFF),
- permettere al peer aiutato U_u di stimare la sua posizione in condizioni sfavorevoli, laddove un normale ricevitore per segnali GNSS potrebbe non essere in grado di stimare la sua posizione,
- eventualmente, aumentare l'accuratezza e la precisione e/o l'affidabilità della posizione stimata dal

peer aiutato U_u .

Secondo un aspetto rilevante dell'invenzione, il peer aiutante U_a può opzionalmente inviare al peer aiutato U_u , assieme all'insieme di grandezze d'aiuto $\{A_{1ji}, A_{2ji}, A_{3ji}\}$ di un dato satellite j -esimo, anche dei corrispondenti parametri di affidabilità $\{\beta_{1ji}, \beta_{2ji}, \beta_{3ji}\}$, dove β_{xji} indica un parametro di affidabilità calcolato dal peer aiutante U_a indicativo di quanto la corrispondente grandezza d'aiuto A_{xji} trasmessa possa essere ritenuta affidabile dagli altri peer U della rete.

Il peer aiutato U_u , ad esempio U_3 , riceve una o più delle grandezze d'aiuto $\{A_{1ji}, A_{2ji}, A_{3ji}\}$ da un numero N di peer aiutanti U_a ; con riferimento all'esempio di figura 1, il peer aiutato U_3 riceve le grandezze d'aiuto dai tre peer U_2, U_4, U_5 che sono direttamente connessi, ma può anche ricevere tali grandezze d'aiuto tramite un cammino indiretto, che passa ad esempio attraverso il peer U_1 (modalità single hop o multi-hop).

Secondo un aspetto principale dell'invenzione, il peer aiutato U_u , ad esempio U_3 , inoltre, elabora quindi una o più delle grandezze d'aiuto ricevute A_{xji} al fine di ottenere dei valori stimati delle grandezze di aiuto utili per migliorare le sue capacità di posizionamento, mediante una operazione di media pesata secondo la seguente relazione:

$$\overline{A}_{xj} = \sum_{i=1}^N \alpha_{xji} A_{xji} \quad (1)$$

dove A_{xji} è la x -esima grandezza d'aiuto stimata dal peer aiutante i -esimo, relativa al segnale del satellite j -esimo, α_{xji} è il coefficiente o peso corrispondente a tale grandezza d'aiuto A_{xji} , da impiegare nel calcolo media pesata, infine \overline{A}_{xj} è il valore di stima per la x -esima grandezza calcolato dal peer aiutato U_u impiegando gli N valori di grandezza d'aiuto A_{xji} ottenuti dagli N peer

aiutanti U_a .

I coefficienti di peso α_{xji} impiegati nella relazione (1) possono essere scelti secondo diversi criteri:

- come media uniforme rispetto al numero N di peer aiutanti U_a , ossia $\alpha_{xji}=1/N$; ciò ad esempio può applicarsi nel caso in cui i peer aiutanti U_a abbiano caratteristiche simili e si trovino in condizioni analoghe oppure nulla sia dato a sapere sulle loro condizioni;

- il coefficiente di peso α_{xji} è calcolato a partire dal parametro di affidabilità β_{xji} relativo alla grandezza A_{xji} misurata al peer aiutante U_a i -esimo, se disponibile; tale parametro di affidabilità β_{xji} in generale dà ad esempio informazioni sul grado di affidabilità del peer aiutante U_a relativa alla misura di quella grandezza d'aiuto: ad esempio, il parametro di affidabilità β_{xji} può assumere valori atti a indicare quali segnali satellitari siano ricevuti con maggiore potenza e quindi minore varianza sui valori stimati e/o se il peer aiutante U_a sia un peer con posizione fissa o nota a priori ("anchor peer") oppure siano apparati dotati di un migliore hardware, come, ad esempio, un ricevitore GNSS professionale; in questo modo è possibile dare un peso maggiore ai valori ottenuti dai peer aiutanti che si trovino in migliori condizioni operative rispetto alla misura di una certa grandezza d'aiuto A_{xji} . Secondo una possibile forma realizzativa, ad esempio, il coefficiente di peso α_{xji} può essere scelto uguale al parametro di affidabilità β_{xji} ($\alpha_{xji} = \beta_{xji}$), legato al valore della deviazione standard σ_{xji} per le misure della grandezza d'aiuto A_{xji} al peer aiutante U_a , in base ad esempio a un'espressione del tipo:

$$\beta_{xji} = \frac{1}{\sigma_{xji}^Y \cdot \sum_{n=1}^N \frac{1}{\sigma_{xjn}^Y}} \quad (2)$$

dove la sommatoria a denominatore nella relazione (2) è inserita allo scopo di rendere unitaria la somma dei parametri di affidabilità β_{xji} relativi agli N peer aiutanti

U_a , ossia $\sum_{i=1}^N \beta_{xji} = 1$, mentre Y è un esponente il cui valore

può venir scelto in modo da pesare in modo ottimale le misure in relazione alle caratteristiche del sistema considerato. Ad esempio, può essere determinato tramite simulazione o empiricamente, mediante campagne di misura usando peer con caratteristiche note, oppure è possibile usare la scelta $Y=1$, in modo da avere una dipendenza inversamente proporzionale alla deviazione standard β_{xji} delle stime al peer aiutante U_a ;

- il coefficiente di peso α_{xji} può essere calcolato a partire da un parametro di distanza, ossia un indicatore legato alla distanza d_i fra il peer aiutante U_a i -esimo e il peer aiutato U_u . Tale distanza d_i viene tipicamente calcolata dal peer aiutato U_u , ma potrebbe anche essere calcolata dal peer aiutante U_a . Tali misure di distanza d_i possono essere effettuate sfruttando le capacità di comunicazione wireless tra i peer e usando tecniche di "radio ranging", di per sé note, basate ad esempio su misure di Received Signal Strength (RSS), Time of Arrival (TOA), Time Difference of Arrival (TDOA) o Round Trip Time (RTT). Il coefficiente di peso α_{xji} calcolato a partire dai parametri di distanza d_i ha un valore inversamente proporzionale alla distanza tra i peer. Detto M l'insieme dei peer aiutanti U_a di cui il peer aiutato U_u riesce a stimare la distanza, secondo una delle tecniche sopra menzionate, dove $M \leq N$, il coefficiente di peso α_{xji} ha la seguente espressione:

$$\alpha_{xji} = \frac{1}{d_i \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{d_m}} \quad (3)$$

dove la sommatoria a denominatore nella relazione (3) è inserita allo scopo di rendere unitaria la somma dei pesi

α_{xji} relativi agli M peer, ossia $\sum_{i=1}^M \alpha_{xji} = 1$

- il coefficiente di peso α_{xji} può essere calcolato a partire da un parametro di distanza in modo non lineare. In dettaglio il parametro α_{xji} avrà la seguente espressione:

$$\alpha_{xji} = \frac{1}{d_i^K \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{d_m^K}} \quad (4)$$

dove K è un esponente scelto in modo da pesare in modo ottimale le misure in relazione alle distanze tra i peer e in base alle caratteristiche del sistema considerato; può essere ad esempio determinato tramite simulazione o empiricamente, mediante campagne di misura usando peer con posizione nota. Ad esempio, scegliendo $K=2$ si ha una dipendenza inversamente quadratica con la distanza:

$$\alpha_{xji} = \frac{1}{d_i^2 \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{d_m^2}} \quad (5)$$

- il peso α_{xji} può essere scelto eguale a un parametro composto, legato sia alla qualità delle stime, come il parametro di affidabilità β_{xji} , sia alla distanza d_i del peer aiutato U_u dal peer aiutante U_a i -esimo, ad esempio secondo la seguente relazione fra i parametri:

$$\alpha_{xji} = \frac{\beta_{xji}}{d_i^K \cdot \sum_{m=1}^M \frac{1}{d_m^K}} \quad (6)$$

dove, in caso di $M \leq N$, vengono considerate solo i valori di grandezza d'aiuto provenienti da peer di cui si riesce a stimare la distanza d_i ed i parametri di affidabilità β_{xji} devono essere rinormalizzati in modo da avere $\sum_{i=1}^M \beta_{xji} = 1$.

Come detto, le grandezze d'aiuto corrispondono a osservabili GNSS misurati al ricevitore tramite elaborazione o misura dal segnale GNSS, e sono quindi differenti dal contenuto dei messaggi di navigazione. In particolare, tali grandezze d'aiuto A_{xji} comprendono una o più delle grandezze qui di seguito descritte.

Una prima grandezza A_{1ji} ($x=1$) corrisponde al rapporto segnale-disturbo C/N_0 , ossia il rapporto fra la potenza della portante C e la densità di potenza del rumore termico N_0 , (carrier-to-noise spectral density ratio) riferito ad un determinato j -esimo satellite in vista e stimato per peer i -esimo.

Secondo un primo aspetto del procedimento implementato dal sistema secondo l'invenzione, dunque viene fornita la grandezza d'aiuto corrispondente al rapporto segnale/disturbo C/N_0 . Dalla relazione (1) si ottiene quindi una stima $\overline{A_j}$ del valore atteso del rapporto C/N_0 in ricezione per il peer aiutato U_u in relazione al satellite j -esimo, assumendo che i peer aiutanti U_a si trovino ad una distanza non eccessiva dal peer aiutato U_u e quindi in condizioni simili per quanto riguarda la ricezione dei segnali satellitari. Di ciò può essere ulteriormente tenuto in conto calcolando i relativi coefficienti di peso usando le distanze dal peer aiutato U_u , secondo quanto indicato in precedenza. La stima $\overline{A_j}$ del valore atteso del rapporto C/N_0 , può essere utilizzata dal peer aiutato U_u per

ordinare i satelliti in base a tale valore di stima $\overline{A_{ij}}$ ed iniziare ad elaborare, ossia acquisire e poi inseguire, i segnali ricevuti dai satelliti iniziando da quelli che hanno i valori di stima $\overline{A_{ij}}$ più grandi.

In questo modo, sfruttando informazioni provenienti da ricevitori vicini e quindi in condizioni analoghe per quanto riguarda i satelliti in vista e le potenze dei segnali ricevuti, è possibile ottenere una riduzione del tempo necessario per acquisire i segnali e quindi calcolare la posizione del peer aiutato U_u , con riduzione del TTFF.

In aggiunta, nel caso in cui le stime $\overline{A_{ij}}$ dei valori attesi di rapporto C/N_0 per alcuni o tutti i satelliti siano bassi (ad esempio $C/N_0 < 40$ dB-Hz), il peer aiutato U_u può decidere di aumentare i tempi di integrazione coerente e/o il numero di accumulazioni non coerenti in modo da aumentare la probabilità di riuscire ad acquisire correttamente il segnale, determinando un'alta probabilità di detection e bassa probabilità di falso allarme. Ad esempio, è possibile fissare un certo valore per il rapporto segnale/rumore SNR_C definito sulla Cross-Ambiguity Function (CAF), ossia all'uscita di correlatori usati, secondo una tecnica di per sé nota, in fase di acquisizione dei segnali GNSS dall'apparato di posizionamento aiutato, in grado di garantire un corretto funzionamento dell'acquisitore (ad esempio $SNR_C = 10$ dB). Si può dimostrare che il minimo tempo di integrazione coerente T_{int} al fine di garantire le prestazioni richieste può essere fissato dal peer aiutato U_u in base alla seguente formula:

$$\lfloor T_{int} \cdot f_s \rfloor \geq \frac{SNR_C \left[2 + (L-1) \frac{\pi}{2} \right] B}{L \frac{C}{N_0}} \quad (7)$$

dove f_s rappresenta la frequenza di campionamento (in Hz)

usata per il convertitore Analogico-Digitale (ADC) nel front-end del ricevitore P per segnali GNSS degli apparati di posizionamento U, SNR_c indica il valore desiderato per il rapporto segnale/rumore definito sulla funzione CAF (in unità lineari), al fine di garantire le prestazioni richieste in termini di probabilità di detection e probabilità di falso allarme, L rappresenta il numero di accumulazioni non coerenti usate nel calcolo della funzione CAF, B è la banda del front-end del ricevitore P per segnali GNSS (in Hz), $\frac{C}{N_0} = \overline{A_j}$ è la stima del valore atteso per il rapporto C/N_0 del satellite j -esimo (in unità lineari) al peer aiutato U_u .

Una seconda grandezza A_{2ji} ($x=2$) impiegata dal sistema proposto corrisponde allo spostamento di frequenza dovuto all'effetto Doppler, o Doppler shift, relativo ad un dato j -esimo satellite in vista e stimato per peer i -esimo.

Secondo un secondo aspetto del procedimento implementato dal sistema secondo l'invenzione, è previsto di calcolare al peer aiutato U_u una stima del Doppler shift $\overline{A_{2j}}$ per il satellite j -esimo. Questa stima è tanto migliore quanto minore la distanza tra i peer aiutanti U_a e quello aiutato U_u e quanto più analoghe sono le loro velocità.

A questo riguardo, si sottolinea che il sistema e procedimento di posizionamento cooperativo proposti possono essere in linea di principio applicati a gruppi di peer di una rete W anche lontani tra loro, ma sono particolarmente vantaggiosi quando i peer sono tra loro vicini, quali ad esempio apparati di posizionamento su veicoli lungo un'autostrada, in centri urbani affollati, in centri commerciali con molti pedoni. In tutti questi casi il sistema di comunicazione è generalmente di tipo "short-range", ad esempio con una distanza dell'ordine di 10-1000

metri. I peer sanno usualmente qual è il raggio di copertura del proprio sistema di comunicazione e quindi hanno un'idea a priori delle distanze massime e quindi degli scostamenti massimi del Doppler shift tra peer e peer.

Il valore di stima $\overline{A_{2j}}$ dello shift Doppler ottenuto tramite l'applicazione della media pesata secondo la relazione (1) può essere utilizzato ad esempio nel modo seguente.

Il ricevitore GNSS di un apparato di posizionamento geospaziale, come detto, calcola la Cross-Ambiguity Function (CAF) cioè la cross-correlazione tra il segnale ricevuto all'apparato e un segnale locale che rappresenta una replica del segnale trasmesso dal satellite j -esimo. A causa dell'incertezza sulla frequenza dovuta all'effetto Doppler e all'incertezza sul ritardo del codice pseudo-casuale (Pseudo Random Noise - PRN) presente nel segnale ricevuto, tale funzione CAF viene calcolata su un certo spazio di ricerca bidimensionale, o search space, diviso in campi di frequenza, o frequency bin, relativi all'effetto Doppler e al ritardo del codice PRN, in modo da individuare il bin corrispondente al massimo di correlazione. Vista l'incertezza dovuta alla frequenza Doppler (dovuta al moto relativo tra il satellite e il ricevitore e all'incertezza sulla frequenza dell'oscillatore locale del ricevitore) il search space in un ricevitore GNSS autonomo tipicamente ha un'ampiezza di diversi kHz, perché deve tener conto del massimo campo possibile di incertezza Doppler (tipicamente ± 5 kHz per applicazioni terrestri).

Il valore di stima $\overline{A_{2j}}$ di spostamento Doppler ottenuto al peer aiutato U_u rappresenta una stima del valore esatto dello spostamento Doppler. Di conseguenza può essere utilizzato dal peer aiutato U_u per ridurre in modo

consistente il numero di frequency bin sui quali calcolare la funzione CAF, partendo dall'ipotesi che il vero valore dello spostamento Doppler sia nelle vicinanze di tale stima $\overline{A_{2j}}$ di shift Doppler.

Tale riduzione del numero dei frequency bin può essere ancora ulteriormente rafforzata, ipotizzando anche che gli oscillatori locali presenti nei front-end dei ricevitori GNSS di tutti i peer U siano mantenuti sintoni, ossia portati ad avere frequenze simili, mediante metodi di sintonizzazione noti tra nodi di una rete wireless, o che almeno ogni peer sia in grado di stimare l'offset e il drift di frequenza del suo oscillatore rispetto ad un oscillatore ideale ad una frequenza nota.

La riduzione del numero di frequency bin porta dunque a ridurre il numero di operazioni e quindi la complessità delle procedure di acquisizione dei segnali GNSS, velocizzando la ricerca e riducendo il tempo per trovare il massimo della CAF (Mean Acquisition Time - MAT) e quindi il Time to First Fix (TTFF), cioè il tempo necessario al peer aiutato U_u per calcolare la sua posizione, una volta che i segnali di almeno quattro satelliti siano stati acquisiti.

Una terza grandezza A_{3ji} ($x=3$) impiegata dal sistema proposto corrisponde al ritardo stimato per peer i -esimo dell'istante di inizio del codice secondario rispetto ad un riferimento temporale comune a tutti i peer, tale codice secondario essendo incluso nel segnale di un dato j -esimo satellite. Tale ritardo dell'istante di inizio del codice secondario va riferito al fatto che, tipicamente, i segnali GNSS (ad esempio nei sistemi GPS e Galileo) includono, come accennato, dei codici pseudo-casuali (Pseudo Random Noise - PRN) allo scopo di distinguere in modo univoco i segnali trasmessi dai vari satelliti, secondo il paradigma della moltiplicazione di codice (Code Division Multiple Access - CDMA), e per permettere al ricevitore di effettuare misure

di distanza (ranging). Alcuni dei nuovi segnali GNSS (GPS modernizzati e Galileo) prevedono codici PRN con una struttura particolare, ottenuta come sovrapposizione, anche detta tiered code structure, tra un codice primario e un codice secondario diversi per ogni canale da trasmettere. Tale struttura di codici prevede di utilizzare successive ripetizioni di un codice primario, tipicamente con un periodo di durata breve (ad esempio 1 ms), su cui viene sovrapposto un codice secondario, in cui ogni simbolo binario del codice, o chip, corrisponde ad un intero periodo del codice primario. In questo modo si possono ottenere dei codici composti molto lunghi (anche 100 ms o più), con ottime proprietà di correlazione, ma che rendono difficoltose le operazioni di acquisizione dei segnali GNSS. A titolo di esempio, si annoverano fra i segnali che adottano o prevedono di adottare una struttura con codici primari e secondari i seguenti: il canale pilota (senza dati di navigazione modulati) $E1-C$ del sistema Galileo trasmesso in banda E1; i segnali Galileo in banda E5 (sia i canali dati $E5a-I$ ed $E5b-I$, sia i canali pilota $E5a-Q$ ed $E5b-Q$; il canale $E1-A$ del sistema Galileo trasmesso in banda E1 ed il canale $E6-A$ e il canale pilota $E6-C$ trasmessi in banda E6; il canale pilota $L1C_p$ del nuovo segnale $L1C$ del sistema GPS previsto in banda L1; i segnali GPS in banda L5 (sia il canale dati $I5$, sia il canale pilota $Q5$, che presentano una codifica di Neuman-Hofman equivalente a un codice secondario).

Secondo un terzo aspetto del procedimento implementato dal sistema secondo l'invenzione, viene dunque calcolata quale grandezza d'aiuto stimata tramite la relazione (1) una stima $\overline{A_{3j}}$ dell'istante di inizio del codice secondario di un dato satellite j -esimo rispetto ad un riferimento temporale comune a tutti i peer della rete wireless W.

Tale stima $\overline{A_{3j}}$ del valore dell'istante di inizio del codice secondario può essere utilizzata nel modo seguente.

Nel caso in cui i segnali ricevuti abbiano dei valori attesi di rapporto segnale-disturbo C/N_0 bassi (ad esempio valori di $C/N_0 < 40$ dB-Hz o anche $C/N_0 < 35$ dB-Hz, comunque valori che consentano ragionevolmente il funzionamento in modo light indoor), il peer aiutato U_u , come detto, può decidere di aumentare i tempi di integrazione coerente e/o il numero di accumulazioni non coerenti in modo da aumentare la probabilità di riuscire ad acquisire correttamente il segnale, come già accennato.

Su alcuni segnali GNSS, tipicamente canali pilota, tale procedura è ostacolata dalla presenza del codice secondario, che è costituito da una stringa binaria (di valori noti, uguali a +1 o -1) in cui ogni suo chip moltiplica un intero periodo del codice primario trasmesso dal satellite. Se si aumenta il tempo di integrazione in ricezione senza rimuovere la modulazione dovuta al codice secondario, il valore della correlazione può risultare ridotto. Infatti, se il periodo di integrazione comprende degli intervalli di tempo in cui i chip del codice secondario cambiano di segno (passando da +1 a -1 o viceversa), i corrispondenti valori di correlazione invece di sommarsi al valore corrente vengono sottratti. Diventa problematico aumentare i tempi di integrazione visto che risulta difficile prevedere a priori (in fase di acquisizione dei segnali GNSS) la presenza di transizioni e quindi il ritardo esatto del codice secondario nel segnale ricevuto.

Secondo un ulteriore aspetto inventivo della soluzione proposta, è previsto perciò di risolvere tale problema rimuovendo la modulazione del codice secondario, moltiplicando il segnale ricevuto per una copia il più possibile sincrona del codice secondario (si noti che $-1 \times$

-1 = +1). In questo modo risulta possibile aumentare il tempo di integrazione: ciò riduce l'impatto del rumore ed aumenta la probabilità di individuare correttamente il massimo della funzione CAF anche in caso di segnali deboli (rapporto C/N_0 basso), secondo una tecnica di "data wipe-off", con riferimento alle tecniche impiegate per rimuovere nell'ambito dei ricevitori GNSS i dati di navigazione nel segnale GPS L1 C/A al fine di aumentare il tempo di integrazione.

Usando tale approccio è possibile estendere notevolmente i tempi di integrazione coerente T_{int} , gestendo in modo semplice il problema delle transizioni dovuto al codice secondario, e si semplifica notevolmente la complessità delle operazioni di acquisizione dei segnali GNSS. Infatti, se il ritardo dell'istante di inizio del codice secondario è noto con un'accuratezza ed una precisione sufficienti (ad esempio con un'incertezza dell'ordine di pochi microsecondi, o comunque inferiore alla durata di un periodo del codice primario), è possibile ridurre notevolmente la dimensione dello spazio di ricerca, velocizzando le procedure di acquisizione dei segnali GNSS.

Un importante requisito al fine di poter correttamente implementare la procedure di wipe-off del codice secondario è quindi la necessità di avere un riferimento temporale comune a tutti i peer, in modo da poter allineare la replica locale del codice secondario con il segnale ricevuto con una piccola incertezza.

L'invenzione può essere applicata ad esempio in questi casi:

- si considerano dei segnali con una struttura a codici PRN sovrapposti, dove viene usato un codice secondario sovrapposto ad un codice primario (tipicamente canali pilota). Galileo prevede dei segnali di questo tipo ed anche la versione modernizzata del sistema GPS,

- i peer concordano tra loro una scala dei tempi e una scala di frequenze comuni (con altri metodi di sincronizzazione e sintonizzazione ben noti e conosciuti nello stato dell'arte delle reti wireless) o, per lo meno, ogni peer deve essere in grado di stimare l'offset e il drift del suo oscillatore locale rispetto ad un oscillatore di riferimento,

- i peer aiutanti U_a si trovano ad una distanza non eccessiva dal peer aiutato U_u , in modo che il valore di stima dell'istante d'inizio $\overline{A_{3j}}$ rappresenti una stima significativa del ritardo del codice secondario (ad esempio, una distanza di 300 m può portare ad un errore di 1 μ s nel caso peggiore).

In questo modo, $\overline{A_{3j}}$ rappresenta una stima del ritardo dell'istante di inizio del codice secondario rispetto a questa scala dei tempi comuni: esso consente quindi di effettuare il wipe-off e di aumentare i tempi di integrazione.

La condivisione da parte dei peer U delle rete wireless W delle sopra descritte grandezze d'aiuto A_{xji} e in particolare del grandezza d'aiuto A_{3ji} corrispondente al ritardo del codice secondario può quindi risultare utile al fine di semplificare e velocizzare le operazioni di acquisizione dei segnali GNSS, rendendole al contempo più robuste alla presenza di transizioni dovute al codice secondario.

La soluzione qui sopra descritta presenta diversi vantaggi rispetto all'arte nota.

Il sistema di posizionamento secondo l'invenzione vantaggiosamente permette di ottenere, tramite grandezze d'aiuto fornite da peer che hanno piena visibilità dei satelliti a peer che stanno iniziando le procedure di acquisizione dei segnali GNSS o che non hanno visibilità

open sky di un numero sufficiente di satelliti, un aumento della velocità di acquisizione (riduzione del tempo di acquisizione), rendendo possibile una rapida stima della posizione anche per apparati di posizionamento geospaziale che si trovino in condizioni tali da non permettere una stima veloce della loro posizione, fornendo informazioni che ne migliorano l'accuratezza, l'affidabilità e/o la velocità di posizionamento.

Le grandezze d'aiuto fornite dal sistema secondo l'invenzione, provengono da un utente o apparato vicino, piuttosto che da un server lontano come nel caso dell'AGNSS, il che comporta vantaggi in quanto tali grandezze hanno validità tanto maggiore quanto più sono locali, pertanto non possono essere facilmente fornite dall'AGNSS, ma possono invece essere ricevute da un apparato vicino come un peer di un rete wireless; inoltre il sistema secondo l'invenzione prevede un meccanismo di combinazione che vantaggiosamente unisce le informazioni provenienti da nodi diversi, permettendo anche di tenere conto della distribuzione dei nodi e delle condizioni operative.

Inoltre, vantaggiosamente lo scambio di informazioni previsto dal sistema secondo l'invenzione appare perfettamente integrato nella visione di reti di utenti cooperative in sviluppo, quali reti veicolari, internet of things, communities.

Inoltre, vantaggiosamente, lo scambio peer-to-peer permette forme in cui le informazioni vengono scambiate tra utenti gratuitamente, mentre ciò è più difficile, anche per i costi di gestione, nel caso di fornitura centralizzata di informazioni come nel caso Assisted-GNSS.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di costruzione e le forme di attuazione potranno ampiamente variare rispetto a quanto

descritto ed illustrato a puro titolo di esempio, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione.

Possibili campi di applicazione del sistema proposto comprendono sia il posizionamento in scenari open sky dove il sistema secondo l'invenzione consentirebbe di calcolare la posizione più velocemente e/o migliorare l'accuratezza e/o l'affidabilità, sia scenari light indoor, dove il sistema secondo l'invenzione consentirebbe di calcolare la posizione in condizioni in cui ciò richiederebbe un tempo molto lungo, tanto da risultare a volte impossibile, e/o migliorare l'accuratezza e/o l'affidabilità.

Il sistema e procedimento secondo l'invenzione possono essere applicati a qualsiasi peer aiutato che sta iniziando l'acquisizione dei segnali GNSS, anche se ha quattro satelliti in open sky, anche se i miglioramenti più significativi si ottengono per peer aiutati che non hanno quattro satelliti open sky, perché altrimenti il tempo di acquisizione è già tipicamente breve. Il sistema e procedimento secondo l'invenzione non sono comunque da considerarsi limitati a peer con uno specifico numero di satelliti in vista con una determinata qualità del segnale ricevuto, potendo in generale contribuire a migliorare le prestazioni in fase di acquisizione dei segnali GNSS anche in casi in cui essa sia già rapida, rendendola ad esempio più affidabile, più accurata e/o precisa.

In aggiunta la trasmissione delle grandezze d'aiuto A_{xji} scambiate tra i peer può essere effettuata secondo diverse modalità, sfruttando le caratteristiche della rete di comunicazione disponibile, senza con questo limitare l'applicabilità della presente invenzione. Ad esempio le grandezze d'aiuto A_{xji} possono essere scambiate usando comunicazioni dedicate tra i peers della rete, oppure come overhead e/o in aggiunta ad altre grandezze usualmente scambiate tra i peers (ad esempio i messaggi per le

procedure di sincronizzazione e sintonizzazione). Inoltre le trasmissioni possono avvenire su richiesta del peer aiutato oppure in modalità non sollecitata ma broadcast ad intervalli prefissati, in base anche al tipo di protocollo usato nella rete. Infine la rete di comunicazione potrebbe anche non essere necessariamente solo di tipo wireless: ad esempio alcuni apparati fissi (detti anchor peer) potrebbero essere collegati e comunicare tra di loro mediante reti cablate (doppini telefonici, cavi coassiali, fibre ottiche, etc.) ed usare inoltre trasmissioni di tipo wireless per comunicare con i peer mobili.

RIVENDICAZIONI

1. Sistema di posizionamento geo-spaziale cooperativo configurato per operare in associazione a un sistema di navigazione globale satellitare GNSS comprendente una pluralità di satelliti (S) trasmettenti segnali GNSS (D), detto sistema comprendendo un insieme di apparati di posizionamento geo-spaziale (U), comprendenti rispettivi ricevitori per segnali GNSS (P) e configurati per operare una stima del posizionamento dell'apparato (U) elaborando dati in detti segnali GNSS (D) ricevuti da satelliti visibili in detta pluralità di satelliti (S), detta stima del posizionamento comprendendo misurare un insieme di grandezze d'aiuto al posizionamento (A_{xji}), detti apparati di posizionamento geospaziale (U) comprendendo inoltre rispettivi mezzi di comunicazione wireless (T) per operare da peer in una rete di comunicazione wireless peer-to-peer (W) e scambiare dati wireless con uno o più altri peer (U_a) di detta rete peer-to-peer (W),

caratterizzato dal fatto che

uno o più di detti apparati di posizionamento (U_u) peer nella rete di comunicazione wireless (W) sono configurati per operare in una modalità di posizionamento aiutato per ricevere da uno o più altri apparati peer (U_a) di detta rete wireless (W) dati wireless che comprendono valori di grandezze d'aiuto (A_{xji}) misurate a detti uno o più altri peer (U_u) in base ai rispettivi segnali GNSS (D) ricevuti, dette grandezze d'aiuto (A_{xji}) essendo adatte a ridurre un tempo di acquisizione di detti segnali GNSS (D), detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) essendo inoltre configurati per calcolare un corrispondente valore di grandezza d'aiuto stimata ($\overline{A_{xj}}$) applicando un'operazione di media pesata a detti valori di grandezze d'aiuto (A_{xji})

misurati in detti dati wireless ricevuti da più altri peer (U_a) e impiegare detto valore di grandezza d'aiuto stimata (A_{xji}) in operazioni di acquisizione di detti segnali GNSS (D), in particolare per ridurre il tempo di acquisizione e/o per migliorarne l'affidabilità, l'accuratezza e/o la precisione in detti apparati di posizionamento (U_u).

2. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) sono configurati per applicare coefficienti di peso (α_{xji}) in detta operazione di media pesata che sono funzione di parametri di affidabilità (β_{xji}) ricevuti da detti uno o più altri peer (U_a) indicativi dell'affidabilità della grandezza d'aiuto ricevuta, in particolare funzione di una deviazione standard (σ_{xji}) per le misure della grandezza d'aiuto (A_{xji}) a detti uno o più altri peer (U_a),

3. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) sono configurati per applicare coefficienti di peso (α_{xji}) in detta operazione di media pesata che sono funzione di parametri dipendenti dalla distanza (d_i) rispetto al peer (U_a) da cui è ricevuto il rispettivo valore di grandezza d'aiuto, in particolare detti parametri di distanza essendo calcolati da detti apparati di posizionamento (U_u) tramite tecniche di radio-ranging.

4. Sistema secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che detti coefficienti di peso (α_{xji}) in detta operazione di media pesata sono calcolati in modo inversamente proporzionale a detta distanza (d_i).

5. Sistema secondo la rivendicazione 3, caratterizzato dal fatto che i coefficienti di peso (α_{xji}) in detta operazione di media pesata sono calcolati a partire dai parametri di distanza in modo non lineare rispetto a detta

distanza (d_i), in particolare hanno una dipendenza inversamente quadratica da detta distanza (d_i).

6. Sistema secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detto coefficiente di peso (α_{xji}) corrisponde a un parametro composto funzione di detto parametro di affidabilità (β_{xji}) e di detto parametro di distanza (d_i), in particolare a un prodotto che coinvolge detti parametri.

7. Sistema secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) sono configurati per applicare coefficienti di peso (α_{xji}) in detta operazione di media pesata calcolati come media uniforme rispetto al numero (N) di altri peer (U_a) dai quali sono ricevute le grandezze d'aiuto (A_{xji}).

8. Sistema secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che dette grandezze d'aiuto (A_{xji}) comprendono uno o più fra:

un rapporto segnale/disturbo (A_{1ji}) riferito al segnale di un dato satellite fra i satelliti (S) visibili,

uno spostamento di frequenza dovuto all'effetto Doppler (A_{2ji}) riferito a un dato satellite fra i satelliti (S) visibili;

un ritardo dell'istante di inizio di un codice secondario (A_{3ji}) incluso nel segnale di un dato satellite fra i satelliti (S) visibili rispetto ad un riferimento temporale comune a tutti i peer di detta rete wireless (W),

9. Sistema secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detto apparato di posizionamento (U_u) è configurato per ricevere valori di rapporto segnale-disturbo (C/N_o) quale grandezza d'aiuto e ordinare rispetto all'esecuzione dell'operazione di acquisizione i satelliti in base ai rispettivi valori di stima di rapporto segnale-disturbo ($\overline{A_j}$) calcolati.

10. Sistema secondo la rivendicazione 9,

caratterizzato dal fatto che detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) sono configurati per decidere di aumentare tempi di integrazione coerente (T_{int}) e/o un numero di accumulazioni non coerenti del segnale GNSS ricevuto (D) in funzione dei valori di stima di rapporto segnale-disturbo ($\overline{A_{1j}}$) calcolati per uno o più satelliti.

11. Sistema secondo la rivendicazione 9, caratterizzato dal fatto che detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) sono configurati per ricevere valori di spostamento di frequenza dovuto all'effetto Doppler quale grandezza d'aiuto e impiegare una corrispondente stima di spostamento di frequenza dovuta all'effetto Doppler ($\overline{A_{2j}}$) come stima del valore esatto dello spostamento Doppler per ridurre uno spazio di ricerca nel calcolo di una Cross-Ambiguity Function (CAF).

12. Sistema secondo la rivendicazione 8, caratterizzato dal fatto che detti uno o più apparati di posizionamento (U_u) sono configurati per ricevere valori di ritardo dell'istante di inizio di un codice secondario quale grandezza d'aiuto e impiegare una stima di detto ritardo dell'istante di inizio del codice secondario ($\overline{A_{3j}}$) per l'allineamento di una replica locale di detto codice secondario in una procedura di wipe-off del codice secondario.

13. Sistema secondo una delle rivendicazioni precedenti, caratterizzato dal fatto che uno o più di detti apparati di posizionamento geospaziale (U), in particolare apparati anchor peer, sono connessi anche tramite reti cablate

14. Procedimento di posizionamento geo-spaziale che opera in associazione a un sistema di navigazione globale satellitare GNSS caratterizzato dal fatto di comprendere le operazioni eseguite dal sistema di posizionamento geo-

spaziale secondo una delle rivendicazioni da 1 a 13.

15. Apparato di posizionamento geo-spaziale configurato per operare come apparato di posizionamento geo-spaziale in modalità di posizionamento aiutato nel sistema di posizionamento geo-spaziale secondo una delle rivendicazioni da 1 a 13.

CLAIMS

1. Geo-spatial cooperative positioning system, configured to operate in association with a GNSS global navigation satellite system including a plurality of satellites (S) transmitting GNSS signals (D), said system including a set of geo-spatial positioning apparatuses (U), including respective GNSS signal receivers (P) and configured to perform an estimate of the positioning of the apparatus processing data in said GNSS signals (D) received from satellites in view in said plurality of satellites (S), said estimate of the positioning including measuring a set of positioning aiding quantities (A_{xji}), said geo-spatial positioning apparatuses (U) further including respective wireless communication means (T) to operate as a peer in wireless peer-to-peer communication network (W) and to exchange wireless data with one or more other peers (U_2, U_4, U_5) of said peer-to-peer network (W)), characterized in that one or more of said positioning apparatuses (U_u), peer in said wireless network, are configured to operate in an aided mode to receive from one or more other peer apparatuses (U_a) of said wireless network (W) wireless data which comprises aiding quantities values (A_{xji}) measured at said one or more other peers (U_u) on the basis of the respective received GNSS signals (D), said aiding quantities (A_{xji}) being suitable to reduce an acquisition time of said GNSS signals (D), said one or more positioning apparatus (U_u) being further configured to compute a corresponding estimated aiding quantity value ($\overline{A_{xj}}$) by applying a weighted mean operation to said measured aiding quantities values (A_{xji}) in said wireless data received from other peers (U_a) and to use said estimated aiding quantity value (A_{xji}) in acquisition operations of said GNSS signals (D), in particular to reduce the acquisition time and/or to

improve reliability, accuracy and/or precision in said positioning apparatuses (U_u).

2. System according to claim 1, characterized in that said one or more of positioning apparatuses (U_u) are configured to apply weight coefficients (α_{xji}) in said weighted operation means which are function of reliability parameters (β_{xji}) received from said one or more other peer (U_a) indicating the reliability of the received aiding quantity, in particular function of a standard deviation (σ_{xji}) of the aiding quantities (A_{xji}) measurements at one said one or more other peer (U_a).

3. System according to claim 1, characterized in that said one or more of positioning apparatuses (U_u) are configured to apply weight coefficients (α_{xji}) in said weighted operation means which are function of parameters depending from the distance (d_i) to the peer (U_a) from which is received the respective aiding quantities value, in particular said distance parameters being computed by said positioning apparatuses (U_u) by radio-ranging techniques.

4. System according to claim 3, characterized in that said weight coefficients (α_{xji}) in said weighted mean operation are computed in a proportional inverse manner with respect to said distance (d_i).

5. System according to claim 3, characterized in that the weight coefficients (α_{xji}) in said weighted mean operation are computed starting from distance parameters in a not-linear manner with respect to said distance (d_i), in particular have an inversely quadratic dependence on said distance (d_i).

6. System according to claim 5, characterized in that said weight coefficients (α_{xji}) corresponds to a composite parameter which is function of said reliability parameter

(β_{xji}) and of said distance parameter (d_i), in particular corresponds to a product involving said parameters.

7. System according to claim 1, characterized in that said one or more positioning apparatuses (U_u) are configured to apply weight coefficients (α_{xji}) in said weighted operation mean computed as uniform mean over the number (N) of other peers (U_a) from which the aiding quantities (A_{xji}) are received.

8. System according to any of the previous claims, characterized in that said aiding quantities (A_{xji}) one or more quantity among:

a signal to noise ratio (A_{1ji}) referring to the signal of a given satellite among the satellites (S) in view,

a frequency shift due to Doppler effect (A_{2ji}) referring to a given satellite among the satellites (S) in view;

a delay of the starting time of a secondary code (A_{3ji}) included in the signal of a given satellite among the satellites (S) in view, with respect to a time reference common for all the peers of said wireless network (W),

9. System according to claim 8 characterized in that said one or more positioning apparatus (U_u) are configured to receive signal to noise ratio values (C/N_0) as aiding quantity and to order the satellites for the acquisition operation on the basis of the respective values of estimated signal to noise ratio ($\overline{A_j}$) computed.

10. System according to claim 9 characterized in that said one or more positioning apparatus (U_u) are configured to choose to increment coherent integration times (T_{int}) and/or a number of not coherent accumulations of the received GNSS signals (D) as a function of the values of estimated signal to noise ratio ($\overline{A_j}$) computed for one or more satellites.

11. System according to claim 9, characterized in that said one or more positioning apparatus (U_u) are configured to receive values of a frequency shift due to Doppler effect as aiding quantity and to use a corresponding estimate of frequency shift due to Doppler effect ($\overline{A_{2j}}$) as estimate of an exact value of the Doppler shift to reduce a search space during the computing of a Cross-Ambiguity Function (CAF).

12. System according to claim 8, characterized in that said one or more positioning apparatus (U_u) are configured to receive values of delay of the starting time of a secondary code as aiding quantity and to use and estimate of said delay of the starting time of a secondary code ($\overline{A_{3j}}$) to align a local replica of said secondary code in a wipe off procedure of said secondary code.

13. System according to any of the previous claims, characterized in that one or more of said positioning apparatuses (U_u), in particular anchor peer apparatuses, is connected also by a wired network.

14. Method for the geo-spatial cooperative positioning which operates in association with a GNSS global navigation satellite system characterised in that includes the operations performed by the geo-spatial positioning system according to any of claims 1 to 13.

15. Apparatus for the geo-spatial positioning configured to operate as geo-spatial positioning apparatus in aided mode in the geo-spatial positioning system according to any of claims 1 to 13.

Fig. 1

